

Pendel in en om de compacte stad: een ruimtelijke analyse van de afstand tot het werk

Kobe Boussauw, Tijs Neutens en Frank Witlox
Universiteit Gent - Vakgroep Geografie
kobe.boussauw@ugent.be

Samenvatting

Er bestaat weinig eensgezindheid met betrekking tot de geografische schaal waarop het stedenbouwkundige model van de compacte stad functioneert, bekeken vanuit de verplaatsingspatronen van haar bewoners en gebruikers. In Vlaanderen is de gemiddelde afstand die per verplaatsing overbrugd wordt (12.5 km) te groot om nog geassocieerd te kunnen worden met de schaal van de bestaande compacte steden. Dit betekent echter niet dat de veronderstelde relatie tussen de ruimtelijke karakteristieken van de compacte stad en verplaatsingsgedrag van haar bewoners en gebruikers niet langer geldig is.

We onderzoeken de impact van verschillende maten voor ruimtelijke nabijheid op de pendelafstanden in Vlaanderen, waarbij we aannemen dat de ritlengte een goede indicator is voor de duurzaamheid van de verplaatsing. Om ruimtelijke nabijheid te meten maken we gebruik van klassieke indicatoren, zoals woondichtheid, jobdichtheid en ruimtelijke diversiteit, waaraan we de “minimale pendelafstand” toevoegen. De minimale pendelafstand moet begrepen worden als de theoretische afstand die elke werknemer minimaal zou moeten afleggen om zo dicht mogelijk bij huis te werken, uitgaande van de huidige ruimtelijke configuratie van woningen en jobs.

Bij de statistische analyse houden we rekening met verstoring door schaalbaarheid van ruimtelijke eenheden en ruimtelijke autocorrelatie. Op basis van een ruimtelijk regressiemodel stellen we significante verbanden tussen ruimtelijke nabijheid en pendelafstanden vast. Een hoge woondichtheid hangt samen met kortere ritten, terwijl voor een hoge jobdichtheid een tegenovergesteld verband waargenomen wordt. Ook een hoge mate van ruimtelijke diversiteit in de zones waar de pendelbewegingen 's ochtends vertrekken is gelinkt aan kortere verplaatsingen. De minimale pendelafstand loopt ten dele gelijk met de geobserveerde pendelafstand, wat aangeeft dat ruimtelijke nabijheid inderdaad de afgelegde afstanden beïnvloedt. Opmerkelijk is dat deze resultaten geldig zijn op het regionale schaalniveau, dus ook buiten de gebieden die als compacte stad kunnen worden omschreven.

1. Inleiding

Hoewel het ruimtelijk ontwikkelingsmodel van de compacte stad voornamelijk eind jaren 1980 furore maakte in de stedenbouwkundige literatuur, zijn er nog steeds heel wat vigerende ruimtelijke beleidsplannen die uit dit denkbeeld putten. Eén daarvan is het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen, dat in 1997 goedgekeurd werd en zich ondermeer inspireert op de “Green paper on the urban environment” (1990) en de Nederlandse “Vierde nota over de ruimtelijke ordening” (1988).

In Europa was het concept van de compacte stad het visionaire resultaat van een zoektocht naar een model voor duurzame stedelijke ontwikkeling, dat gebaseerd is op een stad op maat van voetgangers en fietsers, met een relatief hoge dichtheid, een goede mix van functies en efficiënt openbaar vervoer (Jenks et al., 1996, p. 5). In Noord-Amerika kan de New Urbanism-beweging als tegenhanger van de compacte-stadstroming worden beschouwd, waarbij een uitdrukkelijk alternatief geboden wordt voor de typisch Amerikaanse, zeer uitgestrekte vorm van suburbanisatie (Ellis, 2002). Hoewel ook de bescherming van de open ruimte en economische schaalvoordelen als argumenten in het voordeel van een compacte-stadontwikkeling worden genoemd, heeft een groot deel van de motivering betrekking op het duurzamer maken van de mobiliteit. Het stimuleren van verplaatsingen over korte afstanden en het creëren van ruimtelijke voorwaarden die wandelen, fietsen en het gebruik van het openbaar vervoer bevorderen zijn essentiële ingrediënten van het compacte-stadmodel. Critici verwijzen vaak naar de sociale problemen in woonbuurten met hoge dichtheden, de concentratie van milieubelasting in woonmilieus en het toenemende risico op congestie (Burton, 2000). De voordelen van het versterken van de ruimtelijke nabijheid en een minder grote afhankelijkheid van de wagen worden echter slechts zelden in vraag gesteld.

Binnen het bestek van deze paper willen wij dan ook onderzoeken of er een waarneembaar verband bestaat tussen de vermeende kwaliteiten van de compacte stad en het verplaatsingspatroon van haar gebruikers, en dit aan de hand van pendelgegevens voor Vlaanderen en Brussel. Daarbij beperken we ons niet tot de steden, maar we gaan op zoek naar de aanwezigheid van kenmerken die aan het compacte-stadmodel worden toegedicht in de hele gesuburbaniseerde historisch-polycentrische ruimtelijke structuur waardoor Vlaanderen gekenmerkt wordt.

Het onderzoek dat hier voorgesteld wordt, probeert ruimtelijke verklaringen te vinden voor de waargenomen variatie inzake ritafstanden. Boussauw en Witlox (2009) tonen aan dat de afstand die per persoon dagelijks afgelegd wordt een goede benadering is voor energieverbruik en duurzaamheid van de personenmobiliteit. We beperken ons tot woon-werkverkeer voor Vlaanderen en Brussel, een beperking die ingegeven is door de beschikbaarheid van de nodige gegevens.

2. Relevante literatuur

2.1 Eigenschappen van de compacte stad

Het literatuuroverzicht van Neuman (2005) volgend, zouden de belangrijkste mobiliteitsbeïnvloedende kwaliteiten van de compacte stad bestaan uit een hoge dichtheid, een goede ruimtelijke mix en een kleine functionele korrelgrootte.

De argumentatie voor het streven naar hoge dichtheden is gebaseerd op het werk van Newman en Kenworthy (1989), die vaststelden dat mondiale steden met meer inwoners per vierkante kilometer minder brandstof voor vervoer nodig hebben. Een hogere dichtheid verzekert het draagvlak voor het openbaar vervoer, maar vergroot ook het potentieel aan ruimtelijke interactie tussen mensen op basis van korte afstanden. Ondanks de kritische literatuur die zich rond Newman en Kenworthy heeft

ontwikkeld (zie bijvoorbeeld Mindali et al., 2004), blijft deze these in de praktijk van de ruimtelijke planning een groot draagvlak kennen.

De goede ruimtelijke mix van functies is een tweede element, dat echter veel minder duidelijk gedefinieerd is. In het bijzonder het schaalniveau waarop deze mix haar rol zou moeten spelen is onduidelijk. In het extreemste geval gaat het om zelfvoorziening inzake jobs, winkels, scholen en andere diensten per wijk, het schaalniveau dat in de literatuur vooralsnog het meest aandacht kreeg (Cervero and Kockelman, 1997; Schwanen and Mokhtarian, 2005). Nochtans kan ook de studie van de ruimtelijke mix op het niveau van de stad of de regio van belang zijn, niet in het minst wanneer we ook meer gespecialiseerde functies willen opnemen die van nature niet in een woonwijk ingepast kunnen worden (bv. zware industrie).

We kunnen stellen dat zowel een hoge dichtheid, een goede ruimtelijke mix als een kleinschalige korrelgrootte maakbare ruimtelijke elementen zijn waarvan verwacht wordt dat zij een impact hebben op een afgeleide ruimtelijke kwaliteit die we ruimtelijke nabijheid zouden willen noemen.

2.2 Ruimtelijke schaal versus ritlengte

Er bestaat geen consensus over de ideale schaal waarop de compacte stad het beste zou functioneren: het lijkt wel of het concept zowel op grote dorpen als op miljoenensteden van toepassing kan zijn. Dit is opmerkelijk, aangezien de vergelijking tussen beide types nederzettingen op geen enkele manier opgaat. Hoewel dit probleem door sommige auteurs erkend wordt (zie bijvoorbeeld Alberti (1999), Van Wee (2002) en Neuman (2005)), werden de implicaties van het gekozen schaalniveau op het functioneren van de compacte stad nog niet grondig bestudeerd.

Er bestaat een belangrijk verband tussen de snelheid waarmee we ons verplaatsen en de ruimtelijke schaal waarop onze dagelijkse activiteiten zich afspelen. Deze ruimtelijke schaal wordt voor een belangrijk deel bepaald door het gebruikte vervoermiddel. Wie alle verplaatsingen te voet doet, zal baat hebben bij een verhoogde nabijheid van functies op het niveau van de wijk. Voor wie steeds de wagen gebruikt, zal ruimtelijke nabijheid maar echt belangrijk zijn op het niveau van de agglomeratie of regio. De afstand die in Vlaanderen voor een gemiddelde verplaatsing overbrugd wordt (alle motieven samen) bedraagt 12,5 kilometer. De gemiddelde pendelaar overbrugt in het woon-werkverkeer zelfs een afstand van zo'n 19 kilometer per rit (Zwerts en Nuyts, 2004). Het is duidelijk dat de grootteorde van deze gemiddelde verplaatsingen de afstanden van het compact-stedelijke schaalniveau ruimschoots overstijgt, althans in een Belgische context. Enkel de verplaatsingen die zich in de laagste afstandsklassen bevinden lijken te beantwoorden aan de verwachtingen die door het compacte-stad-idee worden gecreëerd. Ondanks de discrepantie tussen de grootteorde van de afgelegde afstanden en de omvang van de steden, verwachten we toch dat de ruimtelijke nabijheid een zeker effect heeft op de ritlengte.

3. Methodiek

3.1 Opzet van het onderzoek

In eerste instantie willen we verbanden onderzoeken tussen ritlengtes in het woon-werkverkeer en een aantal ruimtelijke kenmerken van de gebieden waar de onderzochte verplaatsingen hun oorsprong en hun bestemming vinden. We doen dit op een kwantitatieve manier door correlaties te berekenen tussen de gemiddelde ritlengte en elk van de andere geselecteerde variabelen. De variabelen zijn geaggregeerd binnen geografische zones, waardoor we geconfronteerd worden met effecten van ruimtelijke autocorrelatie en het probleem van de schaalbaarheid van ruimtelijke

eenheden ("modifiable areal unit problem" of MAUP). De eenvoudige berekening van de Pearson-correlatiecoëfficiënt of het toepassen van lineaire regressie zonder voorbehoud is dan ook geen optie, zodat we op zoek moeten naar meer complexe methodes die rekening houden met de aanwezigheid van ruimtelijke autocorrelatie. Om aan het MAUP-probleem tegemoet te komen is het van belang om een voor de analyse geschikt ruimtelijk aggregatieniveau te kiezen.

De twee meest voor de hand liggende variabelen die we in het onderzoek betrekken, leiden we rechtstreeks af uit de literatuur over de compacte stad. Het gaat om dichtheid en om ruimtelijke diversiteit. We willen hier echter nog een bijkomende ruimtelijke variabele aan toevoegen: de minimale pendelafstand. In de volgende paragraaf lichten we de opbouw van deze extra variabele toe. Het onderzoek richt zich op de gemiddelde ritlengte, vertrekkend uit of aankomend in elke beschouwde zone. We beschouwen ritlengte als de afhankelijke variabele in de analyse.

3.2 Data

In de volgende paragraaf bespreken we de oorsprong en samenstelling van de vier gebruikte variabelen: afgelegde afstand per verplaatsing, dichtheid, diversiteit en minimale pendelafstand.

Afgelegde afstand (dpt)

Voor het bepalen van de per verplaatsing afgelegde afstand worden de herkomst-bestemmingsmatrices van het Multimodaal Model Vlaanderen (MMM) gebruikt. Het MMM is een macro-verkeersmodel dat sinds 1998 wordt ontwikkeld in opdracht van de Vlaamse overheid. De matrix die ter beschikking werd gesteld van dit onderzoek simuleert het verkeer op een gemiddelde weekdag tussen 4u en 11u (ochtendverkeer), waarbij geen onderscheid gemaakt wordt tussen de modi. De met de matrix corresponderende zones komen op de meeste plaatsen overeen met statistische sectoren (zoals gebruikt voor de volkstellingen). De matrices zijn in eerste instantie opgebouwd op basis van de Algemene Socio-Economische Enquête 2001 (SEE 2001, zie: Verhetsel et al., 2007).

Als benadering voor de afstand per trip, wordt telkens de kortste afstand over het wegennet berekend tussen de centroïden van de te verbinden zones. Er moet rekening mee gehouden worden dat de op die manier berekende afstanden meestal een onderschatting van de in de realiteit afgelegde afstanden vormen, aangezien de omrijfactoren die met snellere routes of met het openbaar-vervoernetwerk geassocieerd zijn niet werden meegerekend.

Dichtheid (dens)

Als benadering van de dichtheid werd het aantal vertrekkende bewegingen, alsook het aantal aankomende bewegingen per vierkante kilometer uit het MMM berekend. Wanneer we de vertrekkende bewegingen in het ochtendverkeer beschouwen, is dit een proxy voor de woondichtheid. Bij het beschouwen van de aankomende bewegingen is dit een proxy voor de jobdichtheid.

Diversiteit (div)

De kwaliteit van de gebiedsdekkende datasets die geschikt zijn voor het kwantificeren van de ruimtelijke mix van functies binnen een bepaald gebied is doorgaans vrij laag. Klassieke landgebruikskaarten, zoals de satellietbeelden van CORINE Land Cover (European Environment Agency, 1999) of de Bodemgebruikskaart (Agentschap voor Geografische Informatie Vlaanderen, 2009), detecteren voornamelijk landschapstypes, en maken nauwelijks onderscheid binnen de harde

functies. Wij maakten gebruik van het Strucnet-bestand van het NGI (Nationaal Geografisch Instituut, 2009) dat alle gebouwen bevat die op de officiële topografische kaarten met schaal 1:10000 zijn afgebeeld. De gebouwen zijn onderverdeeld in categorieën. De nauwkeurigheid van de categorisering is echter beperkt. Alle gebouwen die morfologisch deel uitmaken van een groep woningen worden als “gewoon gebouw” geklasseerd. De overige als dusdanig herkenbare gebouwen (industrie, scholen, ziekenhuizen, openbare gebouwen, ...) bezitten elk hun eigen functieklassering. In de praktijk betekent dit dat heel wat commerciële functies, kantoren en diensten die met de woonfunctie verweven zijn, niet als dusdanig herkenbaar zijn. Niettemin kan deze inventaris gebruikt worden om de diversiteit aan functies in een bepaald gebied bij benadering te berekenen, en is het zonder twijfel de beste gebiedsdekkende dataset die momenteel beschikbaar is in België.

Om de ruimtelijk-functionele diversiteit per zone te berekenen, maken we gebruik van de Shannon-index. Deze index wordt in de landschapsecologie toegepast als maat voor de morfologische diversiteit (Nagendra, 2002), en wordt dan ook wel ruimtelijke entropie genoemd (Batty, 1974). Een uitbreiding naar de stedelijke diversiteit ligt dan ook voor de hand. De Shannon-index wordt als volgt

berekend: $S_i = -\sum_{n=1}^N p_n \cdot \ln p_n$, waarbij N het aantal functies is dat voorkomt binnen de beschouwde

aggregatiezone i, en p_n de proportie van elke functie, zoals weergegeven binnen Strucnet, die binnen deze zone voorkomt.

Minimale pendelafstand (mdpt)

We stellen de “minimale pendelafstand” voor als nieuwe nabijheidsmaat. Daarbij gaan we ervan uit dat elk vertrek dat zich in het ochtendverkeer voordoet modelmatig gekoppeld wordt aan de dichtstbijzijnde aankomst, eveneens in het ochtendverkeer. Binnen elk motief (in dit geval: werk) wordt het aantal vertrekken per zone, net zoals het aantal aankomsten, behouden, maar de in de realiteit bestaande relatie tussen herkomsten en bestemmingen wordt doorgeknipt met als doel het minimaliseren van de - berekende - afstand tussen beide. Deze benadering vindt zijn oorsprong in de uitgebreide literatuur rond het fenomeen van de bovenmatige pendel (“excess commuting”), waarvan Ma en Banister (2006) een overzicht bieden. Bestaande studies beschouwen de minimale pendelafstand als een maat die voor een afgebakende stad als geheel wordt berekend. Wij breiden deze aanpak uit door ruimtelijke variaties van deze waarde te berekenen. Voor een overzicht van de berekening zelf verwijzen we naar Boussauw et al. (2010). Ook hier wordt het MMM als gegevensbron gebruikt.

Deze theoretische oefening maakt volstrekte abstractie van de tot op zekere hoogte als noodzakelijk veronderstelde “match” tussen herkomst en bestemming. In het woon-werkverkeer wil dat zeggen dat eenieder die deel uitmaakt van de actieve bevolking geschikt geacht wordt om eender welke job uit te voeren.

Aangezien deze methode rekening houdt met bestaande onevenwichten in ruimtelijke spreiding van woningen en jobs, en met het transportnetwerk, menen we dat de minimale pendelafstand een nauwkeurige benadering vormt van de ruimtelijke nabijheid van de woon- en jobmarkt.

3.3 Aggregatieniveau en probleem van de schaalbaarheid van ruimtelijke eenheden (“MAUP”)

Om correlaties te ontdekken moeten de verschillende variabelen geaggregeerd worden binnen dezelfde zones. De verkeersanalysezones van het MMM zijn daarvoor niet geschikt. Deze zijn klein in gebieden met een hoge dichtheid en vice versa, wat onder meer tot gevolg heeft dat de aan deze zones gekoppelde variabelen een niet-normale verdeling vertonen. Door de grote variatie in

oppervlakte zijn deze verkeersanalysezones bovendien niet geschikt om de Shannon-index te berekenen, en ook de berekening van het aantal bereikbare jobs werd initieel op basis van een andere zonering gemaakt (deelgemeenten). Ten behoeve van de uniformiteit kiezen we ervoor om alle gegevens in een raster van vierkante cellen te aggregeren.

De keuze van de oppervlakte van deze cellen is echter niet evident. Het is een bekend fenomeen dat statistische correlaties wijzigen naargelang een ander aggregatieniveau wordt gekozen, en doorgaans sterker worden als het aggregatieniveau stijgt, ook al boet de dataset door toenemende aggregatie in feite aan nauwkeurigheid in (Amrhein, 1995). Dit mechanisme wordt het schaafeffect van het MAUP genoemd, en is eigen aan iedere kwantitatieve analyse van ruimtelijk geaggregeerde gegevens.

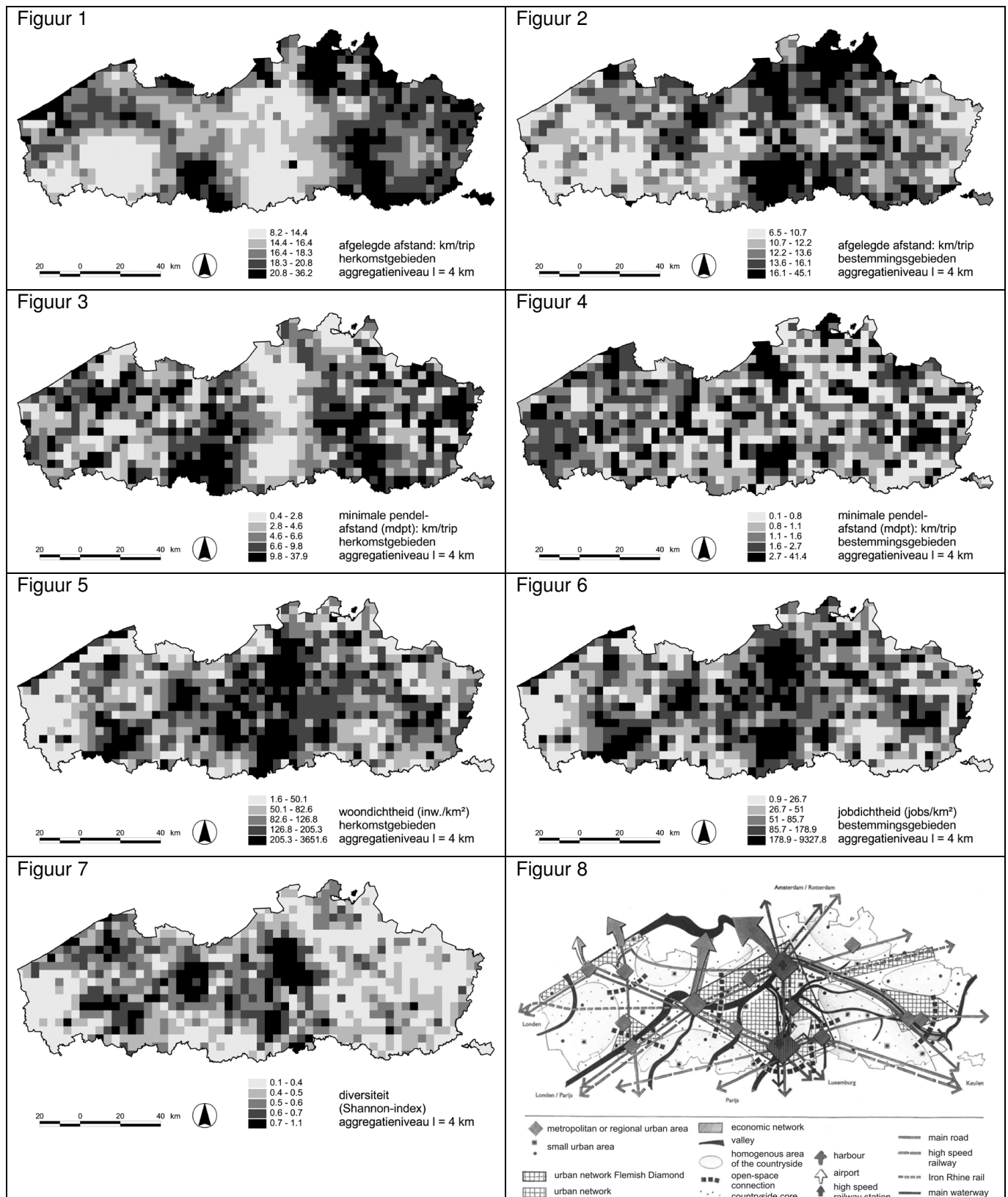
Openshaw en Taylor (1979) stellen dat de keuze van het aggregatieniveau moet afhangen van de betekenis voor de te bestuderen variabelen. Daarmee is de kwestie echter niet afgedaan. Onze belangrijkste variabele, de gemiddelde afstand per rit, vertoont een belangrijke spreiding. Zelfs al kiezen we de maaswijdte van het raster zo dat de gemiddelde verplaatsing haar bestemming vindt in een zone, aanpalend aan de zone van herkomst, dan nog zal dit vaak niet het geval zijn voor verplaatsingen die van het gemiddelde afwijken. Met betrekking tot de andere variabelen (dichtheid, diversiteit, ...) is het nog veel minder duidelijk wat een aangewezen aggregatieniveau zou zijn.

Om de keuze van het aggregatieniveau te ondersteunen maakten we in een exploratieve fase gebruik van niet één maar vier rasters, met een maaswijdte van respectievelijk 1, 4, 8 en 16 kilometer. De resultaten van een ruimtelijke correlatieanalyse (zie infra) geven aan dat de absolute waarde van de correlatiecoëfficiënten toeneemt, en de significantie afneemt, bij toenemend aggregatieniveau. Deze vaststelling bevestigt de verwachte invloed van het MAUP.

Het hoogste aggregatieniveau (16x16 km) lijkt ongeschikt omwille van het grote aantal niet-significante verbanden, veroorzaakt door de in dit geval geringe omvang van de dataset. Het laagste aggregatieniveau (1x1 km) lijkt evenmin geschikt: door de vrij grote mate van discontinuïteit tussen aangrenzende cellen is het lokaal vaak moeilijk om duidelijke patronen te onderscheiden, hetgeen zich manifesteert in soms erg lage correlatiecoëfficiënten. Voor onze analyse kiezen we uiteindelijk voor een intermediair aggregatieniveau met een maaswijdte van 4 km. Als we rekening houden met een omrijfactor van 1,40 (Rietveld et al., 1999) dan houdt deze keuze in dat zowat 70% van de pendelaars een bestemming heeft in een andere zone dan die waaruit hij vertrokken is (Zwerts en Nuyts, 2004).

Bij de opbouw van het raster werden de grenszones van het studiegebied zodanig samengevoegd dat steeds de oppervlakte van een volledig vierkant benaderd wordt. De aggregatie van de gegevens die oorspronkelijk ter beschikking stonden op het niveau van de verkeersanalysezones (afgelegde afstand, dichtheid en minimale pendelafstand) gebeurt proportioneel op basis van de overlap tussen beide geografische indelingen. De Shannon-index (diversiteit) wordt één keer berekend voor het raster met een maaswijdte van 1 km, en wordt vervolgens geaggregeerd naar het gebruikte hogere schaalniveau.

In de Figuren 1 tot en met 7 worden de verschillende gebruikte variabelen in kaart gebracht binnen het gekozen aggregatieniveau. Figuur 8 geeft een schematische referentie van het studiegebied (Vlaanderen en Brussel). We komen bij deze figuren terug in paragraaf 5, waar we de resultaten bespreken.



3.4 Ruimtelijke regressie

Gezien de aard van de ruimtelijke kenmerken die we onderzoeken, zullen we steeds geconfronteerd worden met een belangrijke mate van positieve ruimtelijke autocorrelatie tussen de zones onderling. Ruimtelijke autocorrelatie is de correlatie tussen waarden van een variabele die haar oorsprong vindt

in de onderlinge nabijheid van de locaties waarop deze waarden gemeten werden. Positieve ruimtelijke autocorrelatie, waarbij naburige zones op elkaar lijken, is een fenomeen dat eigen is aan de meeste empirische ruimtelijke datasets, en door “Toblers eerste wet van de geografie” als volgt verklaard wordt: “Alles is gerelateerd aan alles, maar nabije zaken zijn sterker gerelateerd dan zaken die van elkaar verwijderd zijn” (Tobler, 1970). De aanwezigheid van ruimtelijke autocorrelatie is een schending van de assumptie van onafhankelijkheid van opeenvolgende waarnemingen, die vervuld moet zijn voor het toepassen van klassieke statistische methoden (correlatie- en regressieanalyse). Positieve ruimtelijke autocorrelatie leidt te vaak tot positieve resultaten van significantietests en dus tot het onterecht verwerpen van nulhypotheses, alsook tot een overschatting van regressie- en determinatiecoëfficiënten (Anselin en Griffith, 1988).

Net zoals MAUP werd ruimtelijke autocorrelatie in bepaalde wetenschappelijke onderzoeken uit het verleden vaak genegeerd, met onbetrouwbare statistische vaststellingen tot gevolg. De belangrijkste reden voor de verwaarlozing van deze problematiek in onderzoekstoepassingen is dat het theoretische onderzoek rond ruimtelijk bruikbare alternatieven voor klassieke statistische methoden nog niet als afgerond kan worden beschouwd. Een alternatieve regressiemethode die de laatste jaren ingang lijkt te vinden is de zogenaamde “spatial regression”, ontwikkeld door Anselin (Anselin en Bera, 1998). Deze methode vertrekt van een significantietest voor ruimtelijke autocorrelatie op basis van de berekening van Moran’s I, een maat voor ruimtelijke autocorrelatie. Als deze test niet significant is, wordt voorgesteld om een “ordinary least squares” (OLS)-regressie toe te passen. Indien Moran’s-I-test wel significant is (dit is meestal het geval) dan wordt er getest welke vorm van ruimtelijke afhankelijkheid er optreedt: “spatial lag” of “spatial error”. Het optreden van “spatial lag” (“ruimtelijk na-ijlen”) betekent dat de afhankelijke variabele in een cel zowel beïnvloed wordt door de onafhankelijke variabele(n) in de cel zelf als door deze van de naburige cellen. In het geval van “spatial error” (“ruimtelijk afhankelijke residuen”) zijn enkel de residuen in de regressie van naburige cellen aan elkaar gecorreleerd. Afhankelijk van het optreden van “spatial lag” of “spatial error” wordt een regressiemodel gekozen dat de invloed van deze fenomenen reduceert. In een aantal gevallen zal zowel het “spatial lag” als het “spatial error”-model toegepast kunnen worden. Elk van deze berekeningen levert onder meer een regressiecoëfficiënt, een significantietoets en een pseudo-determinatiecoëfficiënt (pseudo-R²) op. De relatieve populariteit van deze methode in de recente literatuur is wellicht te danken aan de gebruiksvriendelijke implementatie in de gratis verspreide software GeoDA (Anselin et al., 2006).

De vergelijkingen zijn die van een reeks standaard bivariate regressieanalyses:

$$dpt = a_x + r_x \cdot x$$

Waarin:

- x respectievelijk *dens*, *div* en *mdpt* voorstelt
- het intercept $a_x = 0$, aangezien we met tot z-scores genormaliseerde variabelen werken
- r_x de gestandaardiseerde regressiecoëfficiënt (correlatiecoëfficiënt) voorstelt: afhankelijk van de gedetecteerde fenomenen van ruimtelijke autocorrelatie is r_x de coëfficiënt van één van de drie naast elkaar gebruikte regressietechnieken (OLS, spatial lag of spatial error)

De coëfficiënt r_x is dus - indien van toepassing - reeds ontstaan is van ongewenste uitvergroten effecten door ruimtelijke autocorrelatie. We stellen deze reeks van drie vergelijkingen tweemaal op: één keer voor de zones beschouwd als herkomstgebied, en één keer voor de zones beschouwd als bestemmingsgebied.

4. Correlatieanalyse voor de gemiddelde afgelegde afstand per trip

Alle voorgestelde onafhankelijke variabelen worden opgevat als een benadering voor ruimtelijke nabijheid, in dit geval tussen woningen en jobs. Sommige van deze variabelen zijn gebaseerd op dezelfde of gelijkaardige gegevens. Omwille van de inherente redundantie van deze variabelen, en omwille van de moeilijkheden die voortspruiten uit het gebruik van ruimtelijke gegevens, zullen we ons beperken tot een bivariate correlatieanalyse.

We normaliseren alle variabelen tot z-scores en nemen deze vervolgens binnen GeoDA op in een bivariate ruimtelijke regressie. De afgelegde afstand wordt steeds als afhankelijke variabele beschouwd. Ten behoeve van de “spatial lag” en “spatial error”-rekenmodellen wordt een “spatial weight”-matrix opgebouwd op basis van de gebruikte rasters, waarbij de opbouw volgens de koningin- (“queen-”)methode gebeurt. Dit houdt in dat rekening gehouden wordt met de invloed van alle aanpalende cellen, inclusief de cellen die slechts met één punt aan de bestudeerde cel raken, zoals de aanpalende velden die in het schaakspel door de koningin kunnen worden bestreken.

Als eerste stap wordt een OLS-regressie berekend, waarbij er getest wordt op ruimtelijke autocorrelatie (door een significantietest op Moran's I), en op de aanwezigheid van “spatial lag” en “spatial error”. In het geval er geen significante ruimtelijke autocorrelatie zou gevonden worden, worden de resultaten van de OLS-regressie gebruikt. In het andere geval wordt het “spatial lag”- of “spatial error”-model doorgerekend, afhankelijk van welk fenomeen significant is. Indien beide fenomenen significant blijken, maken we de berekening met beide rekenmodellen. We weerhouden telkens de regressiecoëfficiënt r , die als ruimtelijke correlatiecoëfficiënt kan worden beschouwd, alsook de waarde van de significantietoets. We doen dit telkens voor de zones beschouwd als oorsprong en voor de zones beschouwd als bestemming. De resultaten worden weergegeven in Tabellen 1 en 2.

Tabel 1: Resultaten van de correlatieanalyse voor de gemiddelde triplengte naar herkomstzone

herkomst	MI	pMI	rOLS	pOLS	rSL	pSL	rSE	pSE
dens	0,628	0,000	(-0,318)	0,000	-0,098	0,000	(-0,109)	0,000
div	0,609	0,000	(-0,448)	0,000	-0,162	0,000	-0,229	0,000
mdpt	0,643	0,000	(0,255)	0,000	0,080	0,000	0,070	0,003

Tabel 2: Resultaten van de correlatieanalyse voor de gemiddelde triplengte naar bestemmingszone

bestemming	MI	pMI	rOLS	pOLS	rSL	pSL	rSE	pSE
dens	0,655	0,000	(0,209)	0,000	0,056	0,004	(0,045)	0,108
div	0,677	0,000	(0,095)	0,005	0,020	0,302	0,012	0,678
mdpt	0,624	0,000	(0,426)	0,000	0,185	0,000	0,224	0,000

herkomst:	elke zone wordt beschouwd als herkomstgebied
bestemming:	elke zone wordt beschouwd als bestemmingsgebied
tussen haakjes:	het GeoDA-model suggereert om deze methode bij voorkeur niet te gebruiken
MI:	Moran's I
pMI:	p-waarde behorende bij Moran's I (als $MI < 0,05$, in alle beschouwde gevallen dus, beschouwen we dit als een significant geval van ruimtelijke autocorrelatie)
rOLS:	correlatiecoëfficiënt (lineaire kleinste kwadratenmethode)
pOLS:	p-waarde behorende bij lineaire kleinste kwadratenmethode
rSL:	correlatiecoëfficiënt (“spatial lag”-techniek) (vet = significant op 0,05-niveau)
pSL:	p-waarde behorende bij “spatial lag”-methode

rSE: correlatiecoëfficiënt ("spatial error"-techniek) (vet = significant op 0,05-niveau)
pSE: p-waarde behorende bij "spatial error"-methode

4.1 Verklaring herkomstgebieden

In dit geval beschouwen we elke zone als woongebied, waar de woon-werkverplaatsingen in het ochtendverkeer vertrekken. Voor alle variabelen werd een significante ruimtelijke autocorrelatie vastgesteld, zodat een gewone lineaire regressie (OLS) niet bruikbaar is. De toegepaste ruimtelijke regressiemodellen werden gesuggereerd door GeoDA. We stellen voor alle variabelen een significant verband vast met de afgelegde afstand per verplaatsing. Hieronder geven we een overzicht van de vaststellingen op basis van Tabel 1.

- Een hogere bevolkingsdichtheid gaat samen met kortere pendelafstanden.
- Ook een hogere diversiteit gaat samen met kortere pendelafstanden. Het verband met de ruimtelijke diversiteit is een stuk sterker dan het verband met de bevolkingsdichtheid.
- De minimale pendelafstand vertoont een positief verband met de geobserveerde pendelafstand, waarbij het effect in dezelfde grootteorde ligt als het verband met de bevolkingsdichtheid.

4.2 Verklaring bestemmingsgebieden

In deze paragraaf beschouwen we elke zone als werkgebied, de bestemmingen van het woon-werkverkeer gedurende de ochtend. Ook hier werd voor alle variabelen een significante ruimtelijke autocorrelatie vastgesteld. De doorrekening met de door GeoDA gesuggereerde ruimtelijke regressiemodellen (Tabel 2) levert volgende vaststellingen op:

- In tegenstelling tot de bevolkingsdichtheid in herkomstzones, gaat een hogere dichtheid aan jobs in de bestemmingsgebieden gepaard met grotere pendelafstanden. Het verband met de jobdichtheid is echter minder sterk dan het verband met de bevolkingsdichtheid in de herkomstgebieden.
- Er kan geen verband aangetoond worden met de ruimtelijke diversiteit.
- Er bestaat een relatief sterk positief verband tussen de minimale pendelafstand en de geobserveerde pendelafstand.

5. Bespreking

5.1 Vertrek- versus aankomstzones

Voor de dichtheid geldt dat een positieve correlatie met de afgelegde afstand van de vertrekkende bewegingen samengaat met een negatieve correlatie met de afgelegde afstand van de aankomende bewegingen. Een hogere bevolkingsdichtheid in een woongebied betekent kortere trips. Een hogere jobdichtheid in een werkgebied betekent daarentegen net langere trips. Met betrekking tot ruimtelijke diversiteit lijkt er echter geen waarneembaar verband te bestaan in de bestemmingsgebieden. Deze vaststellingen, gebaseerd op ons kwantitatief onderzoek, worden ondersteund door het kaartmateriaal (Fig. 3 tot en met 7).

Deze resultaten spruiten voort uit de ongelijke ruimtelijke spreiding van woningen en jobs. Jobs vertonen vaker dan woningen hoge concentraties in de stedelijke gebieden, waar de dichtheid en de ruimtelijke diversiteit over het algemeen hoog is. In de meeste zones ligt de verhouding tussen het aantal jobs en het aantal hier wonende werkenden (de arbeidsbalans) lager dan 1, zodat we in de overige zones, die veel minder talrijk zijn, kunnen spreken van een overconcentratie aan jobs.

Overconcentratie betekent dat werknemers vaker van zeer ver moeten komen om de beschikbare arbeidsplaatsen in te vullen. Langs de woonzijde is het echter zo dat werknemers die in een gebied met stedelijke kenmerken wonen (hoge dichtheid en ruimtelijke diversiteit) vaker een job dichtbij huis vinden.

De these van Newman en Kenworthy (1989), dat het brandstofverbruik negatief gecorreleerd is met de dichtheid, lijkt voor onze regionale case slechts geldig te zijn wanneer we naar de woongebieden kijken. Peng (1997) en Levinson en Kumar (1997) stellen net als wij een omgekeerd verband vast tussen bevolkingsdichtheid en pendelafstand. In het geval van de werkgebieden zien we echter een omgekeerde correlatie. Met betrekking tot stedelijke gebieden moeten we deze laatste vaststelling echter nuanceren, aangezien de moduskeuze niet in rekening gebracht werd. We kunnen ervan uitgaan dat gebieden met een zeer hoge jobconcentratie vaker dan gemiddeld met het openbaar vervoer worden bereikt, waardoor het energieverbruik (en andere externe effecten van het verkeer) minder snel oplopen dan de afgelegde afstand zelf. Maar omdat de hoogste jobconcentraties ook de meest extreme vormen van lange-afstandspendel met zich meebrengen, zal dit effect slechts een beperkte reductie van het brandstofverbruik met zich meebrengen. De afwijking tussen onze resultaten en die van Newman en Kenworthy (1989), waar elke vorm van dichtheid als positief gewaardeerd wordt, heeft dan ook te maken met de belangrijke rol van het openbaar vervoer in de duidelijk afgebakende steden die door deze auteurs werden bestudeerd.

Ruimtelijke diversiteit blijkt geen verklaring te geven voor de pendelafstanden bekeken vanuit de werkgebieden. Dit kan verklaard worden door de grote verschillen in types werkgebieden: hoge jobconcentraties die lange trips genereren komen zowel voor in stadscentra met een hoge ruimtelijke diversiteit als in afgelegen monofunctionele industrie- en havengebieden. Dat is anders voor de woongebieden, waar diversiteit wel een verklarende factor is: een hoge woondichtheid gaat doorgaans gepaard met een ruim jobaanbod en dus een goede ruimtelijke mix van beide functies.

Voor het verband tussen de geobserveerde pendelafstand en de minimale pendelafstand is de waarde van r duidelijk hoger bekeken vanuit de werkgebieden, dan bekeken vanuit de woongebieden. De correlatie met de dichtheid van jobs (in de werkgebieden) is dan weer zwakker ten opzichte van de relatie met de dichtheid van woningen (in de woongebieden).

5.2 Relevante schaalniveaus

We moeten er rekening mee houden dat de verbanden die we afleiden uit een analyse op het niveau van gridcellen van 4x4 km misschien geen verklaring bieden voor processen die zich op een ander aggregatieniveau afspelen. Het belang van het schaalniveau zal wellicht vooral afhankelijk zijn van de afstandsklassen die we beschouwen.

Dichtheid, diversiteit en nabijheid zijn ruimtelijke karakteristieken die wel van belang zijn voor de verkeersproductie, maar dan wel vooral op een schaalniveau dat geassocieerd kan worden met de lengte van de beschouwde afstandsklasse. Om het verplaatsingsgedrag van automobilisten te beïnvloeden, zou wellicht op de hogere schaalniveaus moeten gewerkt worden. Om het verplaatsingsgedrag van voetgangers, fietsers en gebruikers van het lokale openbaar vervoer te beïnvloeden, zijn de laagste schaalniveaus wellicht het meest relevant.

Het verplaatsingsgedrag van de 21e-eeuwse pendelaar wijkt zo sterk af van dat van de historische bewoners van een middeleeuwse of negentiende-eeuwse compacte stad, dat slechts een beperkt globaal milieueffect te verwachten valt van een beleid dat zich enkel richt op het versterken van deze oude structuren. Mogelijk kan meer impact verwacht worden van een beleid dat zich richt op het

versterken van dichtheid, diversiteit en nabijheid binnen de hogere aggregatieniveaus, waarbinnen bijvoorbeeld ook de suburbane gebieden vallen. Anderzijds zal de kwaliteit van de stedelijke structuur op de laagste schaalniveaus mogelijk wel een invloed hebben op het aandeel voetgangers, fietsers en gebruikers van het openbaar stadsvervoer, en in die zin wel een positief effect hebben op het stedelijke leefmilieu.

6. Besluit

Dagelijkse verplaatsingen die te voet, met de fiets of met het openbaar stadsvervoer gedaan worden, maar ook korte verplaatsingen met de wagen, passen bij het ruimtelijke model van de compacte stad. Door de kenmerken van de compacte stad, met de nadruk op woondichtheid en nabijheid van functies, te versterken kan een ruimtelijk kader gecreëerd worden waarbij verplaatsingen over grote afstanden minder noodzakelijk zijn of zelfs overbodig worden.

De categorie van korte verplaatsingen blijkt echter een nichemarkt geworden, in het bijzonder binnen het woon-werkverkeer. In Vlaanderen overbrugt de gemiddelde pendelaar een afstand van zo'n 19 kilometer per rit, een afstand die het compact-stedelijke schaalniveau ruimschoots overstijgt. Toch blijven een aantal kwaliteiten die aan de compacte stad worden toegedicht waardevol, zij het dat ze ook op regionaal schaalniveau ruimtelijke processen beïnvloeden. Bekeken door een "duurzaamheidsbril" blijken voor het woon-werkverkeer een evenwichtige arbeidsbalans en een hoge woondichtheid van groot belang te zijn. Ook een goede ruimtelijke diversiteit en bereikbaarheid van de arbeidsmarkt spelen een positieve rol. Hoge concentraties aan werkgelegenheid zijn daarentegen niet wenselijk. Hoge jobdichtheden lijken snel aanleiding te geven tot overconcentratie, zodat werknemers uit een ruim achterland moeten gerekruteerd worden.

Deze kenmerken komen terug in de minimale pendelafstand, die een goede maat is voor de nabijheid van de woonmarkt ten opzichte van de jobmarkt en duidelijk parallel verloopt met de waargenomen pendelafstanden. Aangezien de minimale pendelafstand bepaald wordt door de ruimtelijke patronen van woningen, jobs en infrastructuur, kunnen we besluiten dat pendel over korte afstanden effectief kan gefaciliteerd worden door wijzigingen aan te brengen in de ruimtelijke structuur.

Het geschetste onderzoek vraagt echter om verdere uitwerking. De resultaten voor het woon-werkverkeer kunnen niet zomaar geëxtrapoleerd worden naar andere soorten verplaatsingen. Verplaatsingen naar school, de winkel of in functie van sociale activiteiten zijn doorgaans veel korter dan woon-werkverplaatsingen (Zwerts en Nuyts, 2004). Het zou dan ook kunnen dat de wisselwerking tussen ruimtelijke structuur en verplaatsingsgedrag zich op een lager schaalniveau voordoet dan voor woon-werkverplaatsingen.

Dankwoord

Deze tekst is tot stand gekomen in het kader van het Steunpunt Ruimte & Wonen (deelproject Mobiliteit). De auteurs wensen hun dank uit te spreken aan het Vlaams Verkeerscentrum voor de ondersteuning, aan Thomas Vanoutrive (UGent / UA) voor de waardevolle tips en aan Kees Maat (als referent) voor de nuttige bijsturingen.

Referenties

- Alberti, M. (1999) "Urban Patterns and Environmental Performance: What Do We Know?" *Journal of Planning Education and Research*. 19(2), pp. 151-163.

- Amrhein, C. G. (1995) "Searching for the elusive aggregation effect: evidence from statistical simulations." *Environment and Planning A*. 27(1), pp. 105-119.
- Anselin, L., Griffith, A.D. (1988) "Do spatial effects really matter in regression analysis?" *Papers in Regional Science*. 65(1), pp. 11-34.
- Anselin, L., Syabri, I., Kho, Y. (2006) "GeoDa: An introduction to spatial data analysis." *Geographical Analysis*. 38(1), pp. 5-22.
- Batty, M. (1974) "Spatial entropy." *Geographical Analysis*. 6, pp. 1-31.
- Boussauw, K., Neutens, T., Witlox, F. (2010) "Minimum commuting distance as a spatial characteristic in a non-monocentric urban system: the case of Flanders." *Papers in Regional Science* (aanvaard voor publicatie).
- Boussauw, K., Witlox, F. (2009) "Introducing a commute-energy performance index for Flanders." *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 43(5), pp. 580-591.
- Burton, E. (2000) "The Potential of the Compact City for Promoting Social Equity". In: K. Williams, Burton, E., Jenks, M. (Eds.) *Achieving Sustainable Urban Form*. London and New York: E&FN Spon.
- Cervero, R., Kockelman, K. (1997) "Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design." *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2(3), pp. 199-219.
- Ellis, C. (2002) "The New Urbanism: critiques and rebuttals." *Journal of Urban Design*. 7(3), pp. 261-291.
- Jenks, M., Burton, E., Williams, K. (1996) "Compact Cities and Sustainability: An Introduction". In: M. Jenks, Burton, E., Williams, K. (Eds.) *The Compact City: A Sustainable Urban Form?* London and New York: E&FN Spon.
- Levinson, D. M., Kumar, A. (1997) "Density and the journey to work." *Growth and Change*. 28(2), pp. 147-172.
- Ma, K. R., Banister, D. (2006) "Excess commuting: a critical review." *Transport Reviews*. 26(6), pp. 749 - 767.
- Mindali, O., Raveh, A., Salomon, I. (2004) "Urban density and energy consumption: a new look at old statistics." *Transportation Research Part A*. 38(2), pp. 143-162.
- N.N. (1988) *Vierde nota over de Ruimtelijke Ordening*. Den Haag: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu.
- N.N. (1997/2004) *Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen - gecoördineerde versie*. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, AROHM - afdeling Ruimtelijke Planning.
- N.N. (1999) *CORINE Land Cover Technical Guide*. Copenhagen: European Environment Agency.
- N.N. (2009) *Bodemgebruikskaart - opname 2001* from <http://www.agiv.be/gis/diensten/geo-vlaanderen/?catid=91>.
- N.N. (2009) *Structuur en codering van de gegevens top10v-gis en top50V-gis* from http://www.ngi.be/Common/articles/CA_Top10V-GIS_TOP50V-GIS/restruct_doc_nl.htm.
- Nagendra, H. (2002) "Opposite trends in response for the Shannon and Simpson indices of landscape diversity." *Applied Geography*. 22, pp. 175-186.
- Neuman, M. (2005) "The Compact City Fallacy." *Journal of Planning Education and Research*. 25(1), pp. 11-26.
- Newman, P., Kenworthy, J. (1989) *Cities and Automobile Dependence. A Sourcebook*. Aldershot: Gower.
- Openshaw, S., Taylor, P. (1979) "A million or so correlation coefficients: three experiments on the modifiable areal unit problem". In: N. Wrigley (Eds.) *Statistical Methods in the Spatial Sciences*. London: Routledge and Kegan Paul, pp. 127-144.
- Peng, Z. R. (1997) "The jobs-housing balance and urban commuting." *Urban Studies*. 34(8), pp. 1215-1235.

- Rietveld, P., Zwart, B., van Wee, B., van den Hoorn, T. (1999) "On the relationship between travel time and travel distance of commuters. Reported versus network travel data in the Netherlands." *The Annals of Regional Science*. 33(3), pp. 269-287.
- Schwanen, T., Mokhtarian, P.L. (2005) "What Affects Commute Mode Choice: Neighborhood Physical Structure or Preferences Toward Neighborhoods?" *Journal of Transport Geography*, 13. pp. 83-99.
- Tobler, W. R. (1970) "A computer movie simulating urban growth in the Detroit region." *Economic Geography*. 46, pp. 234-240.
- Van Wee, B. (2002) "Land use and transport: research and policy challenges." *Journal of Transport Geography*. 10, pp. 259-271.
- Verhetsel, A., Thomas, I., Van Hecke, E., Beelen, M. (2007) *Pendel in België. Deel I: de woon-werkverplaatsingen*. Brussel: Federale Overheidsdienst Economie, K.M.O., Middenstand en Energie.
- Zwerts, E., Nuyts, E. (2004) *Onderzoek Verplaatsingsgedrag Vlaanderen 2000-2001*. Brussel-Diepenbeek: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.